

Tielaitos

Masuunihiekkastabilointi

**Tielaitoksen
selvityksiä**

13/1996

Oulu 1996

Geokeskus
Oulun kehitysyksikkö

Oulun tiepiiri

Tielaitoksen selvityksiä
13/1996

Masuunihiekkastabilointi

Tielaitos
Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö
Oulun tiepiiri

Oulu 1996

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-192-6
TIEL 3200382
Oy Edita Ab
Helsinki 1996

Julkaisua myy:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotevarasto
Telefax (90) 1487 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh.vaihde (90) 148 721

Geokeskus
Oulun kehitysyksikkö
Kansankatu 53
PL 261
90101 OULU
Puh. (981) 310 9383

Aiheluokka 32, 42, 55

Asiasanat masuunihiekka, stabilointi, tien parantaminen, päällysrakennekerroksen rakentaminen

TIIVISTELMÄ

Masuunihiekka on terästeollisuuden sivutuotteena masuunikuonan granuloinnin tuloksena syntyvä, hitaasti sitoutuva, huokoinen, hiekanomainen rakennusmateriaali. Sen edullista raekokojakaumaa ja sitoutumisominaisuutta voidaan käyttää tehokkaasti hyväksi parannettaessa vanhoja tierakenteita stabilointimenetelmällä (masuunihiekkastabilointi).

Masuunihiekkastabiloinnissa vanha, kantavuutensa menettänyt ja rakeisuudeltaan hienontunut tien päällysrakenne voidaan käyttää uudelleen sekoittamalla siihen tarvittava määrä masuunihiekkaa ja vähäinen määrä sitoutumisprosessin käynnistäjänä ja ylläpitäjänä (aktivaattorina) toimivaa sideainetta (sementtiä).

Mitoituksen lähtökohta on, että masuunihiekkastabiloitu rakenne saavuttaa noin 3,5 MPa:n lopullisen puristuslujuuden arvon 365 vrk:ssa. Tarvittava masuunihiekan määrä selvitetään ennakkokokein suhteuttamalla vanhan tierakenteen runkoainesta ja masuunihiekkaa. Käytännössä noin 4 - 10 %:n masuunihiekkamäärällä ja 1 - 2 %:n sementtiaktivaattorin lisäyksellä saavutetaan haluttu puristuslujuus.

Masuunihiekkastabiloinnin työmenetelmä on edullinen. Se mahdollistaa olevien rakennusmateriaalien uusiokäytön sekä erittäin lyhyen työajan ja siitä johtuen vähäiset haitat liikenteelle. Aluksi stabiloitava vanha tierakenne jyrstään auki, oiotaan ja tasataan sementtistabilointiohjeiden mukaisesti. Masuunihiekka ja aktivaattori levitetään sementtistabilointikalustoa käyttäen. Sekoitukseen käytetään jyrsinkalustoa. Sekoitettu kerros tasataan ja tiivistetään tavanomaisin menetelmin, minkä jälkeen se voidaan ottaa liikenteelle. Stabiloitu kerros on päällystettävissä välittömästi tiivistyksen jälkeen.

Menetelmää voidaan käyttää taloudellisesti koko maassa, sillä masuunihiekka toimii sideaineen tapaan ja sen määrä tavanomaisessa stabiloinnissa jää vähäiseksi.

ALKUSANAT

Kuonatuotteitten käyttöä koskevia ohjeita on julkaistu tielaitoksen selvityksissä 15/1993 "Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa" ja 47/1994 "Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa". Tällä julkaisulla jatketaan kuonatuotteiden käytön "ohjeistusta" masuunihiekan käytöstä sideaineena tiestabiloinnissa.

Julkaisu sisältää suunnitteluohjeen ja työselityksen. Tulokset perustuvat laajoihin tutkimuksiin ja pitkäaikaisiin käytännön kokemuksiin sekä niistä saatuihin tuloksiin erityisesti Oulun tiepiirissä, jossa masuunihiekkaa on 1990-luvulla käytetty systemaattisesti tiestabiloinnin sideaineena.

Masuunihiekkastabiloinnista saatuja kokemuksia yhdistämään perustettiin joulukuussa 1994 tämän julkaisun kokoamista varten työryhmä, johon kuuluivat geokeskuksen Oulun kehitysyksiköstä DI Heikki Suni ja DI Seppo Salmenkaita, Oulun tiepiiristä DI Juhani Matinheikki, Oulun yliopiston geotekniikan laboratoriosta DI Marko Mäkikyrö ja SKJ Yhtiöistä rakennuspäällikkö Jari Lappi.

Oulussa helmikuussa 1996

Geokeskus
Oulun kehitysyksikkö

Oulun tiepiiri

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	9
2 MÄÄRITELMIÄ	10
2.1 Masuunihiekka	10
2.1.1 Valmistus	10
2.1.2 Kemiallinen koostumus	11
2.1.3 Sitoutumisreaktio	11
2.2 Masuunihiekkastabilointi	12
3 MASUUNIHIEKAN KÄYTÖN PERUSTEET	13
3.1 Valintaan vaikuttavat tekijät	13
3.1.1 Liikenne	13
3.1.2 Itsekorjautumisominaisuus	13
3.1.3 Pitempi työskentelyaika	13
3.1.4 Rakenteen käyttöiän jatkaminen	13
3.2 Kiviaineksen rakeisuuteen vaikuttaminen	14
3.2.1 Roikkuvan rakeisuuskäyrän korjaaminen	14
3.2.2 Hienoainesmäärään vaikuttaminen	14
3.2.3 Raekokojakauman täydentäminen	14
3.3 Lujittava vaikutus	14
4 ESITUTKIMUKSET JA SUUNNITTELU	16
4.1 Esitutkimusten tarve	16
4.2 Maastotutkimukset	16
4.3 Laboratoriotutkimukset	16
4.3.1 Runkoainetutkimukset	16
4.3.1.1 Runkoaineen rakeisuus	16
4.3.1.2 Runkoaineen humusluokka	17
4.3.1.3 Runkoaineen muut ominaisuudet	17
4.3.2 Masuunihiekan ja sementtiaktivaattorin määrä	17
4.4 Koekappaleen valmistus	18
4.4.1 Tekotapa	18
4.4.2 Säilytys	18
4.5 Koekappaleen koestus	18
4.5.1 Koestusikä	18
4.5.2 Koestustapa	18

RAKENTAMISEN TYÖSELITYS

5 RAKENTAMINEN	19
5.1 Paikalla sekoitus, alempiluokkaiset tiet	19
5.1.1 Esityöt	19
5.1.2 Masuunihiekan levitys	19
5.1.3 Aktivaattorin levitys	19
5.1.4 Sekoitus ja esitiivistys	19
5.1.5 Tasaus	19
5.1.6 Kastelu	20
5.1.7 Tiivistys	20
5.2 Paikalla sekoitus, ylempiluokkaiset tiet	20
5.2.1 Esityöt	20
5.2.2 Masuunihiekan levitys	20
5.2.3 Aktivaattorin levitys	20
5.2.4 Sekoitus	20
5.2.5 Tasaus	20
5.2.6 Kastelu	20
5.2.7 Tiivistys	20
5.3 Asemasekoitus	21
5.4 Stabiloinnin ajankohta	21
5.5 Jälkihoito ja päällystäminen	21
6 LAADUNVALVONTA	22
6.1 Masuunihiekan ja aktivaattorin määrä	22
6.2 Sekoitettun massan rakeisuus	22
6.3 Vesipitoisuus	22
6.4 Tiiviys	22
6.5 Kerrospaksuus	22
6.6 Jälkiseuranta	22
6.6.1 Kantavuuden kehitys	23
6.6.2 Puristuslujuus	23
6.6.3 Raportointi	23
7 ESIMERKKEJÄ TYÖKOhteista	24
7.1 Mt 763 Aittoperä - Kuoppala, Nivala	24
7.1.1 Kohteen kuvaus	24
7.1.2 Rakentaminen	24
7.1.3 Tulokset	25
7.2 Vt 8 Vasankari - Viirre, Kalajoki ja Pyhäjoki	25
7.2.1 Kohteen kuvaus	25
7.2.2 Rakentaminen	26
7.2.3 Tulokset	26
8 KIRJALLISUUSLUETTELO	27

1 JOHDANTO

Tiestömme luonteenomaisimpia vaurioita ovat uraisuus ja halkeamat, joihin syy on useimmiten roudan sulamisen aikainen huono kevätkantavuus. Tämä saattaa johtua myös kantavan kerroksen yläosan hienonemisesta jopa routivaksi jo teon aikana ja myöhemmin päällysteen alla liikenteen aiheuttamien rasisutusten vaikutuksesta.

Lähitulevaisuudessa on huomiota kiinnitettävä olemassa olevaan tieverkoon ja nimenomaisesti sen rakenteiden kehittelyyn sekä työmenetelmien kehittämiseen niin, että nämä johtaisivat taloudellisesti edulliseen lopputulokseen ja antaisivat lopputuotteelle mahdollisimman pitkän käyttöiän. Kestävän kehityksen periaatteet tulisi olla keskeisesti kehittämisessä mukana.

Eräs tällaiset reunaehdot täyttävä rakenneratkaisu ja työmenetelmä on itseasiassa jo käytössä. Se on terästeollisuuden sivutuotteena syntyvän masuunihiekan käyttö joko masuunihiekkastabilointina tai masuunihiekalla sidottuna rakenteena, jossa päästään vähäisemmällä kuonamäärällä ja rakennetta sekä siihen liittyviä työmenetelmiä voidaan taloudellisesti käyttää koko maassa. Näitä rakenteita on käytetty jo muutamia vuosia. Kehittämishistoria on kuitenkin pitempi. Kehittämiseen ovat yhtäältä vaikuttaneet kokemukset ja selvitykset kantavan kerroksen yläosan hienonemisesta työstämisen ja liikenteen vaikutuksen alaisena sekä toisaalta terästeollisuuden masuunikuonatuotteiden ja -jalosteiden käyttömahdollisuus näiden vaurioiden korjaamiseen.

Ensimmäisen kerran kuonaa käytettiin stabilointiin jauheena portlandsementin asemesta jo 1970-luvulla. Käyttö jäi kuitenkin vähäiseksi lähinnä työmenetelmien kalleuden ja laatupuutteiden vuoksi, vaikkakin kuonajauheen hinta oli tuolloin vain puolet portlandsementin hinnasta.

Masuunihiekkää sekä masuuni- ja terässulaton 0 - 4 mm:n kuonamurskeita kokeiltiin ja käytettiin sellaisenaan tai erilaisina seoksina 1980-luvun alkupuolella koerakenteissa kantavan kerroksen yläosan rakeisuuden parantamiseksi. Erilajitteisia masuunikuonamurskeita käytettiin myös rakenteilla tai parannettavana olevan tien työnaikaisen liikenteen hoitamiseksi.

Näiden koerakenteiden antama kokemus ja niistä saadut erittäin hyvät lujuus- ja kantavuusarvot olivat lopullinen sysäys kestävän kehityksen mukaisen rakenteiden ja työmenetelmien kehittämiseksi. Hieman myöhemmin uusien tehokkaiden kalustojen tulo markkinoille vaikuttivat ratkaisevasti masuunihiekkastabiloinnin käytön lisäämiseen laadun parantuessa tuntuvasti ja hintojen alentuessa selvästi. Tällöin myös erilaisten liitännäistyömenetelmien käyttö lisääntyi ja lisäsi edelleen päätyömenetelmän edullisuutta.

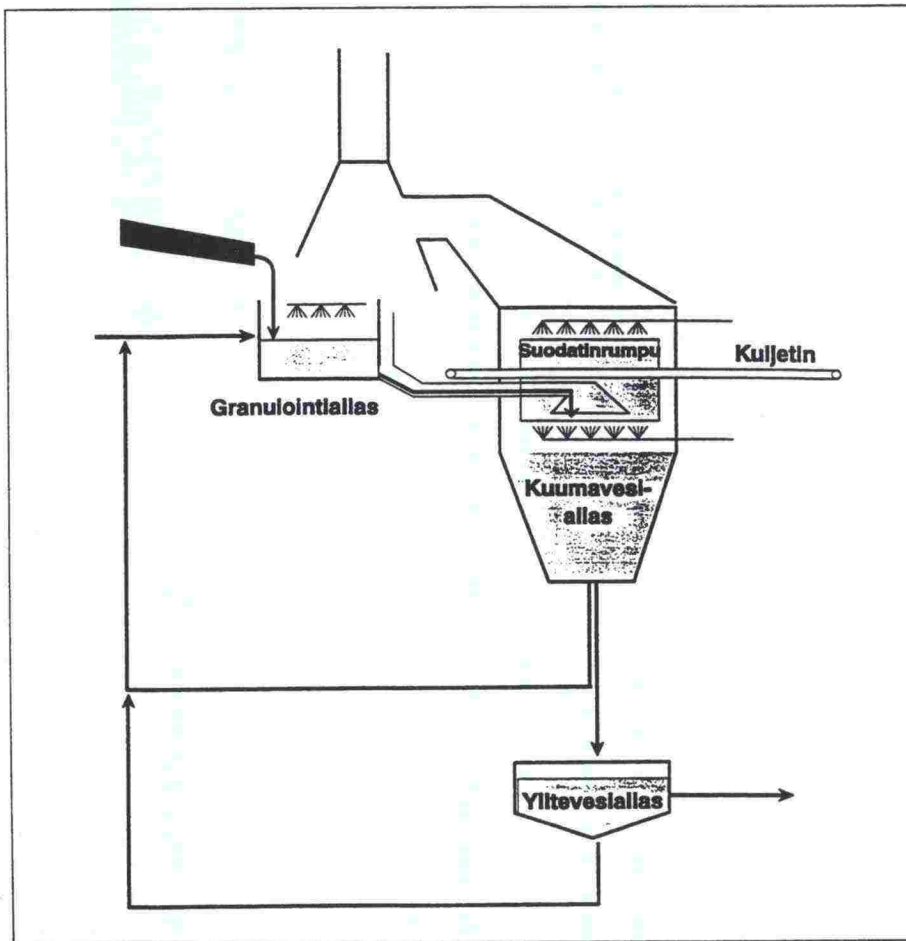
Käytetyn työmenetelmäprosessin etuihin kuuluivat alunalkaen ympäristöystävällisyys (paikallarakentaminen, luonnonvarojen säästö) sekä työnaikaiselle liikenteelle aiheutetut, konventionaalisia työmenetelmiä huomattavasti vähäisemmät haitat.

2 MÄÄRITELMIÄ

2.1 Masuunihiekka

2.1.1 Valmistus

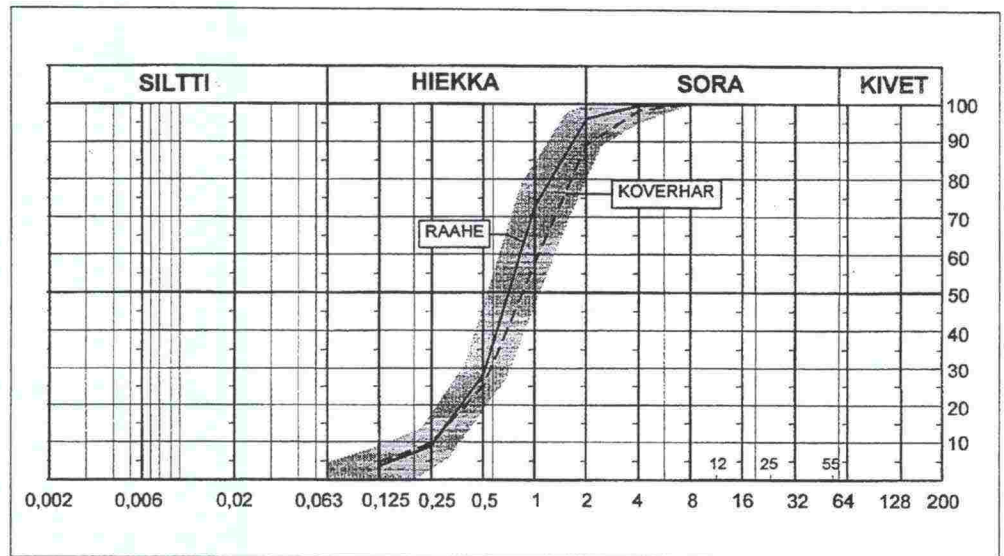
Masuunihiekka on terästeollisuuden prosessin sivutuotteena tehtävä, rakeisuudeltaan 0 - 4 mm oleva hiekkamainen materiaali. Masuunihiekka valmistetaan sulasta masuunikuonasta jäädyttämällä se vesisuihkulla. Masuunihiekan valmistuksesta on kaavio kuvassa 1. Masuunihiekan eräitä teknisiä ominaisuuksia on esitettyinä taulukossa 1 ja tyypillisiä rakeisuuskäyriä kuvassa 2.



Kuva 1: Masuunihiekan valmistus

Taulukko 1: Masuunihiekan teknisiä ominaisuuksia

Rakeisuus	mm	0 - 4
Kiintotiheys	t/m ³	2,7 - 2,8
Irtotiheys, löyhä	t/m ³	1,0 - 1,2
Rakennetiheys, tiivistetty	t/m ³	1,6 - 1,7
Optimivesipitoisuus (laboratoriossa)	p-%	11 - 15
Lämmönjohtoluku λ , kuiva (laboratoriossa)	W/mK	0,2



Kuva 2: Masuunihiekan rakeisuuden ohjealue sekä Raahen ja Koverharin terästehtaiden tyypilliset raekokojakaumat (— Raahen tehtaiden masuunihiekka, - - - - Koverharin masuunihiekka)

Tienrakentamiseen soveltuvaa masuunihiekkaa on Suomessa saatavissa Oy Fundia Wire Ab:n Koverharin tehtaalta ja Rautaruukki Oy:n Raahen tehtaalta.

Koverharin terästehtaan vuotuinen masuunikuonan tuotantomäärä on noin 120 000 t ja Raahen rautatehtaan noin 450 000 t. Tästä tuotannosta tullaan masuunihiekaksi jalostamaan vuosittain Koverharin tehtaalla noin 70 000 t ja Raahen tehtaalla noin 420 000 t.

Käytettäessä masuunihiekkaa sideaineena sen menekki tiemetriä kohti on niin pieni, että kuljetuskustannukset neliötä kohti eivät ole kohtuuttomia pitkilläkään matkoilla.

2.1.2 Kemiallinen koostumus

Suomessa yleisesti saatavien, edellä kohdassa 2.1.1 mainittujen tehtaiden masuunihiekköjen kemiallinen koostumus on samantapainen kuin sementillä (taulukko 2). Masuunihiekka sisältää pääasiassa kalsium-, magnesium-, pii- ja alumiiniyhdisteitä.

2.1.3 Sitoutumisreaktio

Masuunihiekalla on ns. hydraulisia ominaisuuksia, ts. sillä voidaan saada aikaan maabetonimainen rakenne. Rakenteen sitomisessa käytettävä masuunihiekan ja mahdollisen aktivaattorin määrä määritellään tapauskohtaisesti ennakkotutkimuksin.

Sitoutumisreaktio on varsin hidas. Suurin osa lujuuskehityksestä tapahtuu 90 vrk:n kuluessa.

Hidas sitoutumisaika antaa eräitä merkittäviä etuja:

- kutistumahalkeamien syntyminen on vähäistä
- erilaisten lisätyömenetelmien käyttö stabiloinnin yhteydessä ja kohtuullisessa ajassa (3 - 5 h sen jälkeen) mahdollistuu
- mikäli rakenne on sidottu masuunihiekalla, on käytännön kokemuksenkin perusteella voitu osoittaa, että rikottu rakenne sitoutuu uudestaan. Sen mahdollistaa iso raekoko (0 - 4 mm) ja lasimaiset raepinnat, jotka ovat edellytyksenä uudelle sitoutumiselle.

Taulukko 2: Raahan ja Koverharin masuunihiekkojen koostumus. Vertailuna portlandsementin koostumus /1,2,3 /

Yhdiste	Masuunihiekka %		Portlandsementti %
	Raahen	Koverhar	
CaO	37,2	36,2	60 - 70
SiO ₂	35,5	37,4	18 - 24
Al ₂ O ₃	8,5	9,5	3 - 8
MgO	11,4	12,7	0 - 3
Fe _{tot}	0,43 ¹⁾	0,10 ¹⁾	2 - 6 ²⁾
S	1,7	1,1	0,5 - 1
¹⁾ Rautaoksidit + rauta			
²⁾ FeO:n määrä			

2.2 Masuunihiekkastabilointi

Masuunihiekkastabiloinnilla tarkoitetaan rakentamisessa ja kunnossapidossa käytettävää menetelmää. Menetelmällä parannetaan tien tai muun liikennealueen kuormituskestävyyttä sitomalla niiden rakennekerroksia pelkällä masuunihiekalla tai käyttäen sitoutumisen käynnistäjänä jotain aktivaattoria (esim. portlandsementtiä).

Stabilointi voidaan suorittaa paikallasekoituksena vanhan tierungon materiaaleja käyttäen, paikalle tuotuja materiaaleja käyttäen tai asemasekoituksena.

3 MASUUNIHIEKAN KÄYTÖN PERUSTEET

3.1 Valintaan vaikuttavat tekijät

3.1.1 Liikenne

Liikenteen määrällä ei ole merkitystä masuunihiekkastabiloinnin soveltuvuutta harkittaessa. Menetelmä sopii käytettäväksi sekä vilkasliikenteisten että vähäliikenteisten teiden rakenteen parantamiseen.

3.1.2 Itsekorjautumisominaisuus

Masuunihiekkastabiloitu kerros jatkaa sitoutumistaan liikenteen alla useita kuukausia. Rakenteen saavuttaessa lopullisen tiiveytensä ja muotonsa stabiloidun kerroksen kivi- ja masuunihiekkarakeiden väliset sidokset jäävät pysyviksi ja rakenne stabiloituu.

Jos masuunihiekkastabiloitu rakenne epätasaisen routanousun tai liikennekuormituksen vaikutuksesta rikkoontuu, se ei aiheuta rakenteelle pysyviä vaurioita, sillä masuunihiekan sitoutumisreaktio tapahtuu rakeen pinnalla ja pinnan rikkoutuessa reaktio käynnistyy uudella raepinnalla.

3.1.3 Pitempi työskentelyaika

Masuunihiekkastabiloidun rakenteen sitoutumisprosessi on hidas. Se saattaa olla etu nopeasti sitoutuvilla sideaineilla suoritettuun stabilointiin verrattuna, sillä päälylstämisajankohdan tai muiden työjärjestelyiden ja liikenteen hoidon kannalta se mahdollistaa pidemmän työskentelyajan ja taloudellisempien työjärjestelyiden käytön.

3.1.4 Rakenteen käyttöiän jatkaminen

Kantavan kerroksen murskeella on taipumus hienontua liikennekuormituksen vaikutuksesta vuosien myötä. Hienoaineksen lisääntymisen myötä alkuun routimaton materiaali muuttuu vähitellen routivaksi, rakenne väsyä sekä menettää kantavuutensa. Lopulta se alkaa deformatua ja vaurioitua. Lisäämällä hienontuneeseen murskeeseen masuunihiekkaa tai murskattua masuunihiekkaa vähennetään # 0,074 mm:n hienoaineksen suhteellista osuutta, karkeutetaan materiaali ja palautetaan se jälleen routimattomaksi. Tutkimuksissa on todettu, että jo 2 %:n masuunihiekan lisäys saattaa materiaalin jälleen routimattomaksi [2].

Lisättävän masuunihiekan määrällä vaikutetaan materiaalin sitoutumisprosessiin ja materiaalin lujittumiseen. Kansantaloudellisesti menettelyllä on merkitystä, sillä se edistää materiaalien uusiokäyttöä sekä säästää niukkevia luonnonvaroja ja pienentää kustannuksia.

3.2 Kiviaineksen rakeisuuteen vaikuttaminen

3.2.1 Roikkuvan rakeisuuskäyrän korjaaminen

Kalliomurskeiden rakeisuuskäyrät saattavat usein olla "roikkuvia" ts. niissä on vähän hienoaainesta. Materiaalin ominaisuuksia voidaan parantaa, jos siihen lisätään puuttuvia hienojakeita. Masuunihiekka on rakeisuudeltaan 0 - 4 mm ja se sopii sellaisenaan suhteutettavaksi roikkuva-tyyppiseen materiaaliin, jossa se korjaa materiaalin rakeisuuskäyrää sekä parantaa rakenteen työstettävyyttä ja tiivistettävyyttä. Sitoutumisen myötä rakenteen kantavuus- ja pysyväisominaisuudet lisääntyvät.

3.2.2 Hienoainesmäärään vaikuttaminen

Kantavuutensa menettäneen ja routivaksi muuttuneen kantavan kerroksen materiaalin hienoaineksen suhteellinen osuus on lisääntynyt. Materiaali, jonka hienoainespitoisuus # 0,074 mm:n seulalla on yli 8 %, on luokituksen mukaan routivaa. Lisäämällä tällaiseen materiaaliin murskaamatonta masuunihiekkaa 0 - 4 mm, jonka hienoainespitoisuus on alhainen, materiaali karkeutuu ja sen kantavuusominaisuudet paranevat.

3.2.3 Raekokojakauman täydentäminen

Masuunihiekkaa voidaan käyttää myös tavanomaisen kiviaineksen raekokojakauman täydentämiseen tapauksessa, jossa kiviaines on seulakoolla 6...7 mm katkaistua ylitettä. Suhteuttamalla tällainen katkaistu runkoaines ja 0 - 4 mm:n masuunihiekka saadaan jatkuvakäyräinen kiviaines, joka sopii käytettäväksi jakavaan ja/tai kantavaan kerrokseen.

3.3 Lujittava vaikutus

Valmistusprosessistansa johtuen masuunihiekalla on hydratoitumisominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää haluttaessa lujittaa rakennekerrosmateriaalia. Hydratoitumisprosessia voidaan nopeuttaa sopivaa aktivaattoria käyttäen. Lujittumisen määrään voidaan vaikuttaa aktivaattorin ja masuunihiekan määrää vaihtelemalla. Suurempi kuivairtoteiheys johtaa yleensä nopeampaan lujuudenkehitykseen ja korkeampaan lujuustasoon. Taulukossa 3 on esimerkinomaisesti kuvattu stabiloidusta massasta valmistetuilla koekappaleilla saavutettuja puristuslujuuden arvoja.

²⁾ Koekappaleet tehty ICT-kiertotiivistyslaitteella. Kohteessa on tehty neljä erilaista koerakennetta

4 ESITUTKIMUKSET JA SUUNNITTELU

4.1 Esitutkimusten tarve

Uuden tierakenteen suunnittelussa noudatetaan tavanomaisia kiviainestutkimusohjeita huomioiden, että sekoituksen tuloksena rakeisuuskäyrä on masuunihiekan ja varsinaisen kiviaineksen yhdistetty rakeisuus.

Vanhojen tierakenteiden tila ja käyttökelpoisuus on selvitettävä ennen toimenpidettä. Kantavuuden parantamisen tarve selvitetään kantavuusmittauksin. Vauriokartoitusten ja routavaaitusten avulla selvitetään routamitoituksen ja sen mahdollisesti edellyttämien toimenpiteiden tarve.

Vanhoissa tierakennekerroksissa materiaalit ovat usein hienontuneet alkuperäisestä tilastaan ja toisaalta vanhojen, erityisesti alemman luokan teiden materiaali voi poiketa huomattavastikin nykyisistä vaatimuksista. Tämän vuoksi vanhan kerrosmateriaalin laatu on selvitettävä hyödyntämällä rakentamisen aikaisia dokumentointeja sekä riittävän tiheällä näytteenotolla siten, että materiaalien laadun vaihtuminen tielinjalla pystytään luotettavasti määrittelemään.

4.2 Maastotutkimukset

Vanhan tien kantavuuden parantamistarve selvitetään pudotuspainolaitteella.

Routimisalttiit kohdat selvitetään vauriokartoituksella. Samalla saadaan lisätietoa vanhan rakenteen vaurioitumisen asteesta ja vaurioiden syistä.

Routimisen vaurioittamilta tienkohdilta otetaan näytteet tierakenteen kerrosmateriaaleista ja pohjamaasta tutkimuksia varten.

Tien pituus- ja poikkisuuntaiset routanousut selvitetään routavaaituksin. Masuunihiekkastabiloinnin tuloksena kantavasta kerroksesta tulee hydraulisesti sidottu kerros, joka on alttiimpi routanousun aiheuttamalle vaurioitumiselle kuin sitomaton vastaava kerros.

Maastotutkimuksin selvitetään myös tien kuivatusjärjestelmän toimivuus ja mahdollinen parantamistarve.

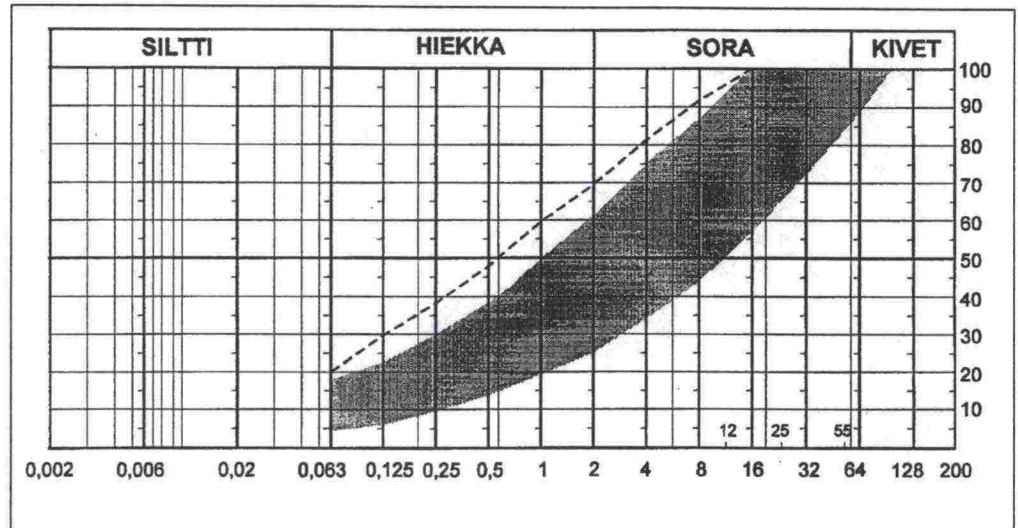
4.3 Laborioriotutkimukset

4.3.1 Runkoainetutkimukset

4.3.1.1 Runkoaineen rakeisuus

Vanhasta tierakenteesta on otettava kerrosnäytteitä niin edustavasti, että tehtävien rakeisuusmääritysten perusteella materiaalin muutoskohdat saadaan luotettavasti selville. Rakeisuus määritetään pesuseulonnalla. Samalla määritetään myös materiaalin vesipitoisuus.

Stabiloitavan rakennekerrosmateriaalin rakeisuuskäyrän tulee olla kuvassa 3 esitetyllä alueella.



Kuva 3: Stabiloitavan rakennekerrosmateriaalin ohjealue

Työmaalle toimitetusta masuunihiekasta voidaan tehdä pistokokein rakeisuusmäärytyksiä. Rakeisuuden tulee pysyä kuvassa 3 osoitetulla ohjealueella. Jos humusluokka on 0 - I, niin ohjealueen ylärajana voidaan pitää kuvassa osoitettua katkoviivaa.

4.3.1.2 Runkoaineen humusluokka

Runkoaineen humusluokka määritetään NaOH-testillä. Humusluokat 0 - I eivät aiheuta toimenpiteitä. Humusluokat II - IV edellyttävät aktivaattorin (sementti) lisäystä. Tarvittava sementin lisäys on määriteltävä ennakkokokein. Vähimmäislisäys on kuitenkin vähintään 0,3 prosenttiyksikköä (paino-%).

4.3.1.3 Runkoaineen muut ominaisuudet

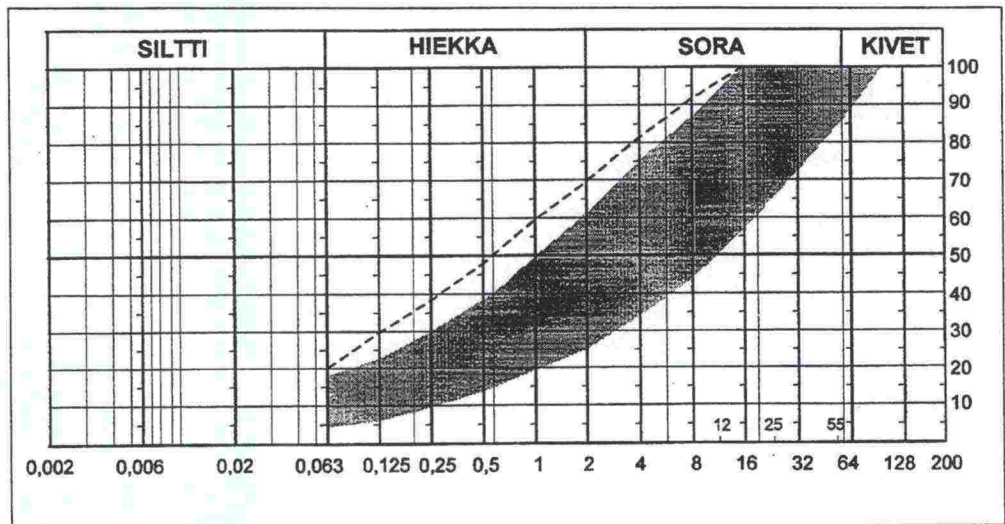
Optimivesipitoisuus määritetään parannetulla Proctor-kokeella sekä pelkälle runkoaineelle että sekoitetulle materiaalille.

Masuunihiekka ja sementti tarvitsevat sitoutuaakseen vettä, joten 1 - 2 %:n ylimäärä vettä seoksessa ei ole haitallinen.

4.3.2 Masuunihiekan ja sementtiaktivaattorin määrä

Mitoituksen lähtökohtana on, että masuunihiekkastabiloitu rakenne saavuttaa noin 3,5 MPa:n lopullisen puristuslujuuden arvon 365 vrk:ssa. Tähän tarvittavat masuunihiekan ja aktivaattorin määrät selvitetään ennakkokokein. Aktivaattorina käytetään portlandsementtiä, jossa seosaineita saa olla korkeintaan 20 %. Sopiva masuunihiekan määrä on kiviaineksen laadusta riippuen 4 - 10 %, kun sementtiaktivaattoria käytetään 1 - 2 %. Jos sementtiaktivaattoria ei käytetä, on vaadittava masuunihiekkamäärä 10 - 20 %. Masuunihiekan ja sementin määrät lasketaan osuuksina koko sideaine/kiviainesseoksen kuivapainosta ja ilmoitetaan kiloina neliometriä kohden (kg/m²).

Masuunihiekan ja aktivaattorin määrä pyritään säätämään siten, että koe-kappaleiden puristuslujuus 28 vrk:n ikäisenä on noin 2 MPa. Mikäli puristuslujuus on suurempi kuin 4 MPa, vähennetään joko masuunihiekan tai aktivaattorin tai molempien määrää. Ennakkokokeista huolimatta sementti-



Työmaalle toimitetusta masuunihiekasta voidaan tehdä pistokokein rakeisuusmääryksiä. Rakeisuuden tulee pysyä kuvassa 3 osoitetulla ohje-alueella. Jos humusluokka on 0 - I, niin ohjealueen ylärajana voidaan pitää kuvassa osoitettua katkoviivaa.

4.3.1.2 Runkoaineen humusluokka

Runkoaineen humusluokka määritetään NaOH-testillä. Humusluokat 0 - I eivät aiheuta toimenpiteitä. Humusluokat II - IV edellyttävät aktivaattorin (sementti) lisäystä. Tarvittava sementin lisäys on määriteltävä ennakkokokein. Vähimmäisliisäys on kuitenkin vähintään 0,3 prosenttiyksikköä (paino-%).

4.3.1.3 Runkoaineen muut ominaisuudet

Optimivesipitoisuus määritetään parannetulla Proctor-kokeella sekä pelkälle runkoaineelle että sekoitetulle materiaalille.

Masuunihiekka ja sementti tarvitsevat sitoutuakseen vettä, joten 1 - 2 %:n ylimäärä vettä seoksessa ei ole haitallinen.

4.3.2 Masuunihiekan ja sementtiaktivaattorin määrä

Mitoituksen lähtökohtana on, että masuunihiekkastabiloitu rakenne saavuttaa noin 3,5 MPa:n lopullisen puristuslujuuden arvon 365 vrk:ssa. Tähän tarvittavat masuunihiekan ja aktivaattorin määrät selvitetään ennakkokokein. Aktivaattorina käytetään portlandsementtiä, jossa seosaineita saa olla korkeintaan 20 %. Sopiva masuunihiekan määrä on kiviaineksen laadusta riippuen 4 - 10 %, kun sementtiaktivaattoria käytetään 1 - 2 %. Jos sementtiaktivaattoria ei käytetä, on vaadittava masuunihiekkamäärä 10 - 20 %. Masuunihiekan ja sementin määrät lasketaan osuuksina koko sideaine/kiviainesseoksen kuivapainosta ja ilmoitetaan kiloina neliometriä kohden (kg/m^2).

Masuunihiekan ja aktivaattorin määrä pyritään säätämään siten, että koe-kappaleiden puristuslujuus 28 vrk:n ikäisenä on noin 2 MPa. Mikäli puristuslujuus on suurempi kuin 4 MPa, vähennetään joko masuunihiekan tai aktivaattorin tai molempien määriä. Ennakkokokeista huolimatta sementti-

aktivaattoria suositetaan käytettäväksi vähintään yksi painoprosentti koko stabiloitavan massan kuivapainosta laskettuna. Yli kahden prosentin sementtimäärät ovat tässä yhteydessä epätaloudellisia. Mikäli ennakkokokeet edellyttävät yli kahden prosentin sementtimäärää työssä, on syytä harkita muuta stabilointimenetelmää.

Varsinaisessa masuunihiekkastabiloinnissa on käytettävä samaa sementtilaatua kuin ennakkokokeissa.

Optimaalisia sementtiaktivaattorin ja masuunihiekan määriä selvitettäessä on huomattava, että vähäiselläkin sementtimäärän lisäyksellä voi olla voimakas vaikutus 28 vrk:n puristuslujuuteen, toisin sanoen lopullinen lujuus saavutetaan nopeammin. Sen sijaan masuunihiekan määrän, varsinkin lisäämisen, muutosten vaikutukset lujuuteen ilmenevät huomattavasti hitaammin.

4.4 Koekappaleen valmistus

4.4.1 Tekotapa

Koekappaleet tehdään parannetulla Proctor-sullonnalla tai ICT-laitteella. Vesipitoisuutena seoksissa käytetään runkoaineelle saatua optimivesipitoisuutta lisättynä yhdellä prosenttiyksiköllä. Koekappaleita tulee tehdä aina kaksi kappaletta kutakin reseptiä ja koestusikää varten. Koekappale tulee tasata huolella ennen muotista irrottamista.

4.4.2 Säilytys

Koekappaleet säilytetään huoneenlämpötilassa ($+20 \pm 2$ °C) erityisessä säilytysastiasa. Säilytysastian pohjalla on aina oltava vettä.

4.5 Koekappaleen koestus

4.5.1 Koestusikä

Koestus suoritetaan 1, 7 ja 28 vrk:n ikäisenä, koska masuunihiekkastabiloinnin lujuuden kehitys on hidas.

Reseptin valinta tehdään 91 vrk:n puristuslujuustulosten perusteella. Puristuslujuus ei saa ylittää 3,5 MPa, sillä liian suuri puristuslujuus aiheuttaa rakenteessa kutistumishalkeilua.

4.5.2 Koestustapa

Koekappaleista määritetään puristuslujuus (MPa). Koekappaleen päissä käytetään puristamisen aikana noin 4 mm:n paksuista kumilevyä, jotta kuormitus jakaantuisi tasan koekappaleeseen. Kuormitusnopeutena on 2,5 kN/s.

RAKENTAMISEN TYÖSELITYS

5 RAKENTAMINEN

5.1 Paikalla sekoitus, alempiluokkaiset tiet

Alempiluokkaisiksi teiksi luokitellaan tässä ohjeessa paikallistiet, joiden KVL <500 ajon/vrk ja päällysrakenneluokka 4 - 6. Alempiluokkaisilla teillä stabi-
lointitarve on yleensä vähäinen, mutta tämä menetelmä tarjoaa edullisen
vaihtoehdon muihin parantamismenetelmiin verrattuna.

5.1.1 Esityöt

Masuunihiekkastabiloinnin yhteydessä tehdään sementtistabilointiohjeiden
mukaiset esityöt. Alempiluokkaisilla teillä on kuitenkin huomioitava tien toi-
minnalliset tarpeet, jotka määräävät esitöiden laajuuden.

5.1.2 Masuunihiekan levitys

Alempiluokkaisille teille masuunihiekan levitys voidaan tehdä suoraan kuor-
ma-autoilla matoksi vetäen ja tasata höylällä. Masuunihiekan menekkiä voi-
daan kontrolloida tiepaalutuksen tai erillisen mittauksen avulla.

5.1.3 Aktivaattorin levitys

Aktivaattorin levitykseen voidaan käyttää mm. maataloudessa käytettävää
kalkin- tai hiekanlevitintä. Aktivaattori levitetään suoraan masuunihiekkaker-
roksen päälle.

5.1.4 Sekoitus ja esitiivistys

Vanhaa tierakennetta parannettaessa voidaan sekoitus tehdä kevyempiä se-
koittimia käyttäen. Välittömästi sekoituksen jälkeen kerros esitiivistetään ku-
mipyörä- tai täryjyrällä.

5.1.5 Tasaus

Tasaus tehdään tiehöylällä. Tasausvaatimuksena käytetään kantavalle ker-
rokselle asetettuja tasaisuusvaatimuksia taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4: Kantavan kerroksen tarkkuusvaatimukset

Kantavan kerroksen tarkkuusvaatimukset	
Yläpinnan sijainti	- + 100 mm
Yläpinnan leveys	0...100 mm
Yläpinnan taso	-20...+20 mm
Sallittu epätasaisuus	20 mm/5 m
Sallittu kaltevuuspoikkeama	0,5 %

5.1.6 Kastelu

Kuivalla säällä vesipitoisuudeksi pyritään saamaan noin yksi prosenttiyksikkö yli optimivesipitoisuuden ennen sekoitusta. Jos jälkikastelua tarvitaan, tehdään se ennen viimeistä sekoituskertaa esim. kasteluautolla. Rankkasade ei estä masuunihiekkastabilointia, jos se tehdään ilman aktivaattoria.

5.1.7 Tiivistys

Lopulliseen tiivistykseen käytetään täryjyrää. Tiivistysvaatimuksena on 95 %:n tiiviyssaste, johon päästään yleensä 4 - 6 ylityskerran jälkeen.

5.2 Paikalla sekoitus, ylempiluokkaiset tiet

Ylempiluokkaiseksi teiksi luokitellaan tässä ohjeessa kaikki tiet, joiden KVL > 500 ajon/vrk ja/tai joiden päällysrakenneluokka on 1 - 3.

5.2.1 Esityöt

Masuunihiekkastabiloinnin yhteydessä tehdään samat alusrakennetyöt kuin sementtistabiloinnin yhteydessä.

5.2.2 Masuunihiekan levitys

Masuunihiekan levitys tulee tehdä kalustolla, jolla annostelutarkkuus on vähintään $\pm 2 \text{ kg/m}^2$. Levitykseen soveltuvat mm. hiekanlevitin ja hiekanomaisen tuotteiden levitykseen kehitetyt levittimet.

5.2.3 Aktivaattorin levitys

Levityksessä käytetään samoja levittämiä kuin sementtistabiloinnissa. Niiden annostelutarkkuus tulee olla $\pm 0,5 \text{ kg/m}^2$ /2/.

5.2.4 Sekoitus

Sekoitus tehdään sementti- ja bitumistabilointiin kehitetyllä jyrsinkalustolla. Sekoittamiseen riittää yleensä yksi ylityskerta.

5.2.5 Tasaus

Tasaus tehdään kohdan 5.1.5 mukaisesti.

5.2.6 Kastelu

Kastelu suoritetaan tarvittaessa suoraan sekoittimen rummulle. Tämä edellyttää, että tiedetään runkoaineen tarkka vesipitoisuus ennen sekoitusta.

5.2.7 Tiivistys

Tiivistys suoritetaan täryjyrällä. Tiiviyksvaatimus on ylempiluokkaisilla teillä 96 %. Yksittäinen tulos ei saa alittaa 92 %.

5.3 Asemasekoitus

Asemasekoituksen etuna on paikallasekoitukseen verrattuna tarkempi massan homogeenisuus. Masuunihiekan ja tarvittaessa aktivaattorin määrä voidaan annostella ja sekoittaa, jolloin päästään tarkkaan lopputulokseen. Mikäli rakennuskohde päätetään tehdä asemasekoituksella, tehdään se sementtistabilointiohjeiden mukaisesti.

5.4 Stabiloinnin ajankohta

Masuunihiekkastabilointityön ajoituksessa on otettava huomioon, että stabiloidun kerroksen tulee saavuttaa riittävä pakkaskestävyys ennen talven tuloa. Se edellyttää noin 30 vuorokauden plus-lämpötilassa tapahtuvaa sitoutumisaikaa työn valmistuttua.

5.5 Jälkihoito ja päällystäminen

Stabiloidun pinnan päälle voidaan laskea työaikainen liikenne välittömästi. Tiivistämisen jälkeen pinta yleensä päällystetään saman työvuoron aikana. Pinta tulee pitää kosteana ennen päällystämistä.

6 LAADUNVALVONTA

Sidottuja rakenteita tehtäessä on ennakkokokeiden lisäksi suoritettava jatkuvaa laadunvalvontaa työn aikana. Valvonta on tehtävä masuunihiekan ja aktivaattorin määrää, sekoitetun massan rakeisuutta, vesipitoisuutta, tiiviyyttä ja kerrospaksuutta mittaamalla. Lisäksi on tehtävä silmämääräisiä havaintoja massan homogeenisuuden ja pinnan tasaisuuden suhteen.

6.1 Masuunihiekan ja aktivaattorin määrä

Masuunihiekan ja aktivaattorin määrä mitataan tietyn pinta-alan omaavalla levyllä, jonka yli levitin pudottaa sideainetta. Levyllä oleva sideaine punnitaan, jolloin voidaan laskea sideainemäärä kg/m^2 .

Masuunihiekan määrä saa poiketa suunnitellusta enintään 2 kg/m^2 . Aktivaattorin määrässä sallitaan paikallasekoituksessa $\pm 0,5 \text{ kg/m}^2$ poikkeama.

6.2 Sekoitettun massan rakeisuus

Työn aikana on tärkeintä seurata silmämääräisesti sekoitettua massaa. Rakeisuusnäytteitä otetaan 500 m:n välein jälkiseurantaa varten.

6.3 Vesipitoisuus

Vesipitoisuutta tutkitaan työn aikana esim. Speedy-karbidometrillä tai Troxler-mittarilla. Vesipitoisuutta on hyvä mitata riittävän usein, jotta löydetään keliolosuhteista riippuen sopiva vesipitoisuus eri työvaiheisiin, jotta lopullisessa valmiissa kerroksessa olisi optimivesipitoisuus.

6.4 Tiiviys

Tiiviyyttä tutkitaan vesivolymetrin tai Troxler-laitteen avulla. Kokeilla saatuja kuivatilavuuspainoja verrataan Proctor-sullonnalla saatuun maksimikuivatilavuuspainoon Y_{dmax} , jolloin saadaan tiivysaste.

$$Dv = Y_d / Y_{dmax} * 100$$

Tiivysvaatimuksena ylempiluokkaisilla teillä on 95 %:n tiivysaste. Yksittäinen tulos ei saa alittaa 92 %:n tiivysastetta.

6.5 Kerrospaksuus

Kerrospaksuus mitataan valmiista pinnasta kaivamalla kerrosraja esiin. Paksuus saa poiketa vaaditusta kerrospaksuudesta $\pm 20 \text{ mm}$.

6.6 Jälkiseuranta

Jälkiseurantaa tulee tehdä tarvittaessa kantavuusmittauksin ja puristuslujuutta seuraamalla.

6.6.1 Kantavuuden kehitys

Kantavuuden kehitystä seurataan rakentamisvuoden syksyllä sekä seuraavan vuoden keväällä ja/tai kesällä. Kantavuudet mitataan pudotuspainolaitteella.

6.6.2 Puristuslujuus

Puristuslujuuden seurantaan varten tehdään kentällä koelieriöitä käsikäyttöisellä Proctor-vasaralla. Koelieriöitä varten massa otetaan rakenteesta vasta sitten, kun lopullinen tiivistysmäärä ja tiiviys on rakenteeseen saavutettu.

Koelieriöitä valmistetaan samasta paikasta otetusta näytteestä kaksi kappaletta, toinen laboratorio-olosuhteissa säilytystä varten, toinen kenttäolosuhteisiin. Koelieriöistä tutkitaan 7:n, 28:n, 91 vrk:n ja 365:n vrk:n lujuudet. Tämä koesarja suositellaan tehtäväksi kohteen laajuudesta riippuen 1 koesarja / 3000...5000 m².

6.6.3 Raportointi

Rakentamiskohteesta suositetaan tehtäväksi raportti, josta ilmenee

- rakentamis-/parantamiskohde
- parantamistarpeen syyt, valittu tavoitekantavuus/-puristuslujuus
- tehdyt ennakkotutkimukset ja niiden tulokset
- valittu resepti
- rakentamisen eteneminen
- laadunvalvonnan tulokset
- johtopäätökset

jotta voidaan seurata kohteen käyttäytymistä ja suunnitella myöhempiä parantamistoimenpiteitä.

7 ESIMERKKEJÄ TYÖKOhteista

7.1 Mt 763 Aittoperä - Kuoppala, Nivala

7.1.1 Kohteen kuvaus

Kohteella oli suoritettu parantamistyötä edellisen kerran vuosina 1984 - 1985, jolloin tie levennettiin 6,5 metriseksi. Kohde oli vuoden 1994 työohjelmassa sisältäen kantavuuden parantamisen 8 km:n matkalta. Kohde toteutettiin 7. - 14.7.1994.

Masuunihiekkastabilointimenetelmä valittiin seuraavin perustein:

- ei tarvittu lisätiealuetta
(säilytettiin vanhat luiskat ja tasausviivan korkeus)
- voitiin hyödyntää vanha Ös-päällyste
- ei tarvittu murskeen lisäystä
(pienet massanvaihdot voidaan korvata stabiloinnilla)
- uudelleenmuotoilu voitiin tehdä stabiloinnin yhteydessä
- liikenteelle aiheutuva haitta oli vähäinen
(6 työvuorokautta, runsaasti asutusta)
- kantavuutta saatiin lisättyä halutulla tavalla
- kantavan kerroksen yläosan hienontuminen voidaan välttää.

Näillä perustein saatiin vuosikustannuksiltaan edullisin tapa toteuttaa rakenteen parantaminen (työn toteutumishinta 110 000 mk/km).

7.1.2 Rakentaminen

Ennakkotutkimukset ja kokeet

Kohteella tehtiin edellisenä kesänä kantavuusmittaukset pudotuspainolaitteella (ka 193 MN/m²). Selvitetiin vanhojen rakennekerrosten rakeisuus, kosteus, kuivairtoisuus ja kerrosvahvuus. Stabiloitavasta materiaalista valmistettiin koelieriöitä, joilla varmistettiin sitoutuminen. Näillä varmistettiin puristuslujuustulokset 7 ja 28 vrk:n ikäisistä näytteistä. Niiden mittausten perusteella valittiin toteutettavaksi stabilointityö, jossa käytetään masuunihiekkaa 5 % ja sementtiä 2 % stabiloitavan kerroksen kuivatilavuuspainosta. Stabiloitavan kerroksen syvyydeksi valittiin osaltaan 150 mm ja osaltaan 200 mm tavoitelluista kantavuusominaisuuksista riippuen.

Stabilointityö suoritettiin kolmessa vaiheessa seuraavasti:

- * Vanhan Ös-päällysteen ja kantavan kerroksen yläosan sekoitusjyrsintä. Urakkaan kuului jyrsinnän lisäksi myös tien muotoilu liikennöitävään kuntoon.
- * Masuunihiekan levitys jyrsitylle alustalle.

- * Stabilointityö sisältäen kastelun optimikosteuteen, sementin levityksen, kerroksen sekoitustyön ja muotoilun sekä tiivistyksen. Urakkaan kuului myös teräsverkkojen asentamista 2 763 m² (koko kohteen ala 52 573 m²).

Työvuorossa stabiloitu ala päällystettiin saman työvuoron aikana.

7.1.3 Tulokset

Syksyllä 1993 suoritettujen pudotuspainolaitemittausten keskiarvo oli 363 MN/m.

Koelieriöistä tehtyjen puristuslujuustulosten keskiarvo (91 vrk:n) oli 2,24 MPa.

Työkohteen toteutunut kapasiteetti oli noin 1000 m²/h. Stabilointityön toteutunut yksikköhinta oli kaikkineen 11,50 mk/m².

7.2 Vt 8 Vasankari - Viirre, Kalajoki ja Pyhäjoki

7.2.1 Kohteen kuvaus

Kohteella oli suoritettu parantamistyötä edellisen kerran vuosina 1974 - 1975, jolloin tie levennettiin 8 metriseksi (8,17 m), rakennekerroksia lisättiin ja AB-päällyste uusittiin. Kantavan ja jakavan kerroksen materiaalina käytettiin kalliomursketta (KaM 1 - 64 mm).

Kohde oli vuoden 1993 työohjelmassa sisältäen valtatie levennyksen 10 metriseksi (10,5/7,5) ja kantavuuden parantamisen tarpeellisilta osin sekä päällysteen uusimisen koko kohteen osuudella eli 16,1 km:n matkalla. Päällyste oli uusittu aikaisemmin vuonna 1987. Kohde toteutettiin kesällä 1993.

Masuunihiekkastabilointimenetelmä valittiin seuraavin perustein:

- voitiin hyödyntää vanhat AB-kerrokset edullisesti stabiloinnissa osana käsittelyä
- ei kerrosmateriaalien (murskeiden) lisäystä. (tie parannettu 2 - 3 kertaa aiemmin)
- tien muotoilu voitiin tehdä stabiloinnin yhteydessä (ilman materiaalin lisäystä).
- liikenteelle aiheutuva haitta lyhyt (n. 19 tpv/16 km)
- kantavuuden lisäys taattu
- kantavan kerroksen yläosan hienontuminen voidaan välttää
- näillä perustein saatiin vuosikustannuksiltaan edullisin tapa toteuttaa parantamistyö (työn toteutumahinta 99.000 mk/km).

7.2.2 Rakentaminen

Ennakkotutkimukset ja kokeet

Stabilointitöitä varten otettiin kerrosnäytteitä rakennetuista kerroksista syksyllä 1992, joista tutkittiin rakeisuus, kosteus, kuivairtoisuus sekä kerrosvahvuudet.

Stabiloitavasta materiaalista (vanha AB-päällyste ja kantavan kerroksen yläosa) valmistettiin koelieriöitä, joilla varmistettiin sitoutuminen (puristuslujuustulokset 7 ja 28 vrk:n ikäisistä näytteistä).

Ennakkonäytteiden perusteella määrättiin käytettäväksi ohjepitoisuuksina masuunihiekkaa 5,0 % ja aktivaattorina portlandsementtiä 2,0 % stabiloitavan kerroksen kuivatilavuuspainosta.

Stabiloitavan kerroksen syvyydeksi valittiin 200 mm, käsiteltävä päällystekerros mukaanluettuna.

Työn kuvaus

Stabiloinnit suoritettiin kolmessa vaiheessa:

- * Vanhan päällystelaatan jysintätyö kitajysintänä. Työhön kuului jysintätyön lisäksi tien muotoilu liikennöitävään kuntoon.
- * Kuonahiekan levitys jysitylle alustalle.
- * Stabilointityö sisältäen kastelun optimikosteuteen, sementin levityksen, kerroksen sekoitustyön ja muotoilun sekä tiivistyksen.

Stabiloidun kerroksen päälle vedettiin tasauspäällyste ("nahka" KAB14/40) heti stabilointityön valmistuttua.

7.2.3 Tulokset

Syyskuussa 1993 suoritettujen pudotuspainolaitemittausten keskiarvo kohteella oli 664 MN/m² ja koelieriöistä tehtyjen puristuslujuustulosten keskiarvo 3,2 MPa.

Jälkiseurantana mitattiin kantavuudet kohteelta kesällä 1995. Myöhemmin syksyllä porattiin koelieriönäytteet tieltä ja tutkittiin niistä puristuslujuudet.

Stabilointityössä toteutunut kapasiteetti oli noin 700 m²/h ja työn toteutunut yksikköhinta yhteiskustannuksineen 11,90 mk/m².

8 KIRJALLISUUSLUETTELO

- 1 Hiltunen, A & Putro, J & Pöyliö, E., Production, use and improved utilization of the by-products of blast furnace based steel works in Finland. Seminar on the Steel Industry and Recycling, 24 - 27 April 1995. Düsseldorf. 22 s.
- 2 Mäkikyrö, M., Tien runkoaineksen vaikutus stabilointiin granuloiduilla masuunikuonatuotteilla. Oulun yliopisto, rak.tekn. osasto. geotekniikan laboratorio. Lisenssiaatintyö. Oulu 1995. 100 s. + liitteet 28 s.
- 3 Viljas, P., Kalkkisulfaattiaktivoitu masuunikuona stabiloinnin sideaineena. Oulun yliopisto, rak. tekn. osasto, geotekniikan laboratorio. Lisenssiaatintyön käsikirjoitus. Oulu 1995.

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 84/1995 Soratien tasaisuuden ja pinnan kiinteyden vaikutukset ajokustannuksiin. TIEL 3200359
- 85/1995 Valo-ohjatun liittymän välityskyky. TIEL 3200360
- 86/1995 Valtatien 4:n Järvenpää-Mäntsälä-välin muuttuvan reittipastusjärjestelmän vaikutukset. TIEL 3200361
- 87/1995 Moottoriväylien rinnakkaistiet; Esiselvitys alemman tieverkon ominaisuuksista ja suunnitteluperiaateista moottoriväylän liikennekäytävässä. TIEL 3200362
- 88/1995 Remixer-stabilointi. TIEL 3200363
- 89/1995 Lauttapaikkojen palvelutaso. TIEL 3200364
- 90/1995 Lossin ohjausköyttä korvaavat laitteistot. TIEL 3200365
- 91/1995 Heinolan ohikulkutien seurantatutkimus. TIEL 3200366
- 92/1995 Voidaanko henkilöautoliikennettä vähentää? TIEL 3200367
- 93/1995 PTM-auton mittaaman megakarkeuden soveltuvuus päällysteen tasaisuuden arviointiin. TIEL 3200368
- 94/1995 Stabiloidun maamassan leikkauslujuuden ja CPT-kairauksen välinen riippuvuus. TIEL 3200369
- 1/1996 Muuttuvien kelivaroitusmerkkien vaikutus ajonopeuksiin, aikaväleihin ja kuljettajien käsityksiin. TIEL 3200370
- 2/1996 Kestävä kehitys tiensuunnittelussa. TIEL 3200371
- 3/1996 Yleisten teiden ympäristön tila - luonto. TIEL 3200372
- 4/1996 Liittymien muutostoimenpiteiden vaikutus liikennekäyttäytymiseen - pyöriteiden ylityskohdat. TIEL 3200373
- 5/1996 Uudenmaan tiepiirin liikenteen hallintakeskuksen tehtävä ja toiminnot. TIEL 3200374
- 6/1996 Tuotannon laatu-, päällys- ja routarakenteet. TIEL 3200375
- 7/1996 Terminaaliivoituksen periaatteet. TIEL 3200376
- 8/1996 Yleisten teiden ympäristön tila - taajamat. TIEL 3200377
- 9/1996 Salaojan ympärysaineiden toiminta koerakenteessa; Loppuraportti TIEL 3200378
- 10/1996 Tielaitoksen toiminnan ympäristövaikutusten indikaattorit; Viitekehys TIEL 3200379
- 11/1996 Asfalttipäällysteen tyhjätilan mittausten menetelmien vertailu. TIEL 3200380
- 12/1996 Pärjäsimmekö vuoden 1970 tieverkolla? Tieverkon kehittymisen vaikutus kuljetus- ja tuotantotalouteen sekä kaupunkirakenteeseen. TIEL 3200381